



PCT/CH 03 / 00788

**SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
CONFÉDÉRATION SUISSE  
CONFEDERAZIONE SVIZZERA**

REC'D 08 DEC 2003

WIPO PCT

### **Bescheinigung**

Die beiliegenden Akten stimmen mit den ursprünglichen technischen Unterlagen des auf der nächsten Seite bezeichneten Patentgesuches für die Schweiz und Liechtenstein überein. Die Schweiz und das Fürstentum Liechtenstein bilden ein einheitliches Schutzgebiet. Der Schutz kann deshalb nur für beide Länder gemeinsam beantragt werden.

### **Attestation**

Les documents ci-joints sont conformes aux pièces techniques originales de la demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein spécifiée à la page suivante. La Suisse et la Principauté de Liechtenstein constituent un territoire unitaire de protection. La protection ne peut donc être revendiquée que pour l'ensemble des deux Etats.

### **Attestazione**

I documenti allegati sono conformi agli atti tecnici originali della domanda di brevetto per la Svizzera e il Liechtenstein specificata nella pagina seguente. La Svizzera e il Principato di Liechtenstein formano un unico territorio di protezione. La protezione può dunque essere rivendicata solamente per l'insieme dei due Stati.

Bern, 01. Dez. 2003

**PRIORITY  
DOCUMENT**

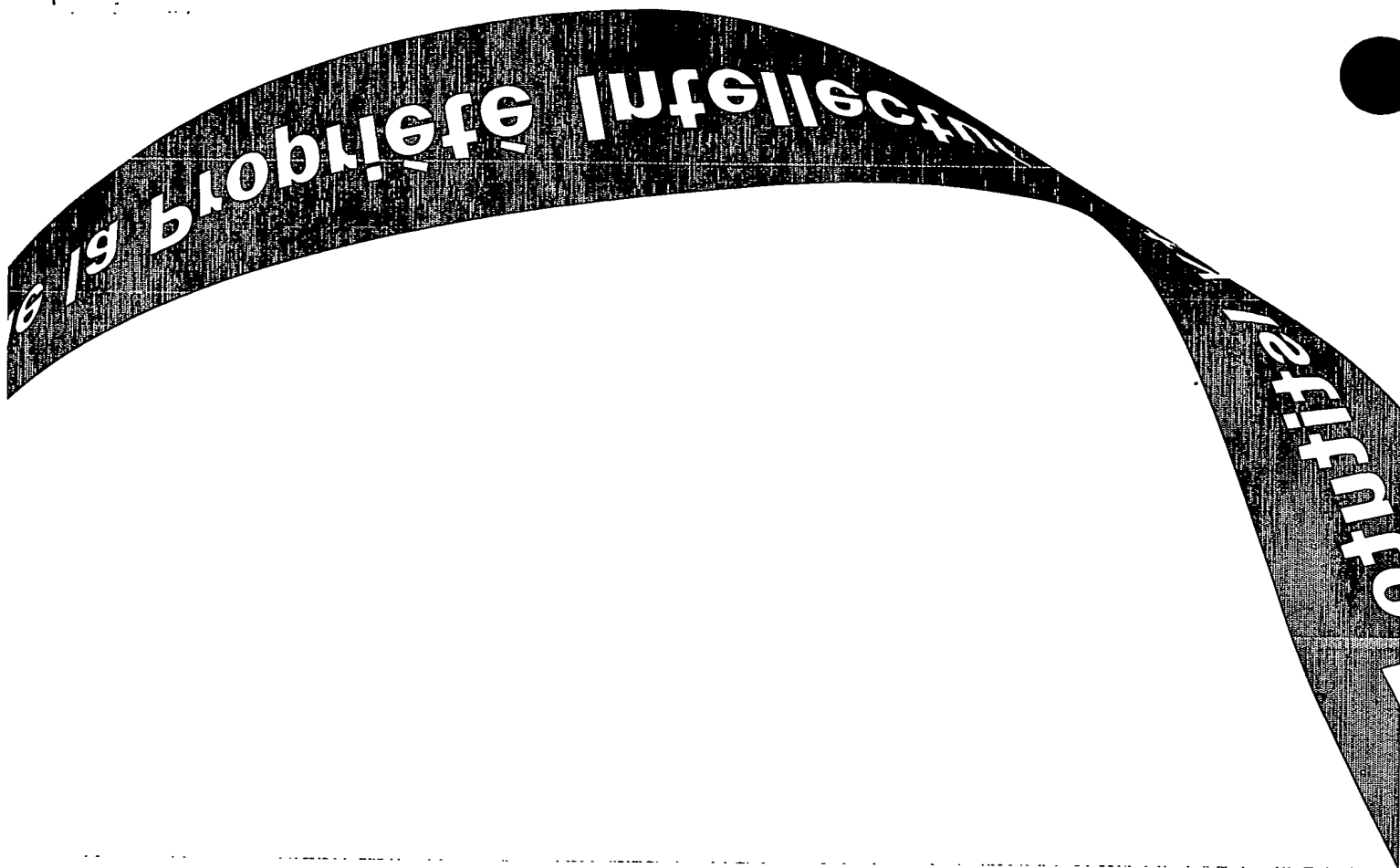
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum  
Institut Fédéral de la Propriété Intellectuelle  
Istituto Federale della Proprietà Intellettuale

Patentverfahren  
Administration des brevets  
Amministrazione dei brevetti

*H. Jenni*  
Heinz Jenni

BEST AVAILABLE COPY.



Demande de brevet no 2002 2007/02

CERTIFICAT DE DEPOT (art. 46 al. 5 OBI)

L'Institut Fédéral de la Propriété Intellectuelle accuse réception de la demande de brevet Suisse dont le détail figure ci-dessous.

Titre:

Procédé et dispositif de mesure de la conductivité thermique d'un fluide multifonctionnel.

Requérant:

Ecole d'Ingénieurs du Canton de Vaud  
Route de Cheseaux 1  
1401 Yverdon

Mandataire:

Cabinet Roland Nithardt Conseils en Propriété Industrielle S.A.  
Y-Parc rue Galilée  
1400 Yverdon-les-Bains

Date du dépôt: 28.11.2002

Classement provisoire: G01F

## **PROCEDE ET DISPOSITIF DE MESURE DE LA CONDUCTIVITE THERMIQUE D'UN FLUIDE MULTIFONCTIONNEL.**

La présente invention concerne un procédé de mesure de la conductivité thermique d'un fluide multifonctionnel.

Elle concerne également un dispositif de mesure de la conductivité thermique d'un fluide multifonctionnel pour la mise en œuvre du procédé ci-dessus.

Un fluide multifonctionnel est un fluide pouvant être constitué de plusieurs composants qui peuvent être à différentes phases, liquide, solide ou gazeuse. Un exemple simple de fluide multifonctionnel est le sang. D'autres fluides multifonctionnels sont par exemple les mélanges diphasiques constitués de matériaux à changement de phase, couramment appelés PCM en suspension dans un liquide et le coulis de glace.

Pour pouvoir résoudre les divers problèmes de transfert de chaleur, les problèmes d'écoulements fluides ou autres, les valeurs numériques des propriétés physiques et thermophysiques des fluides sont d'une grande importance.

La conductivité thermique en particulier, définit le degré de propagation de la chaleur dans un matériau en fonction du gradient de température. La conduction est essentiellement un transfert d'énergie sous l'effet du mouvement, notamment des vibrations des particules. Le coefficient de conduction  $k$  (W/m.K) dépend de la structure cristalline dans les solides, de l'homogénéité, de la température, de la pression, de la phase, liquide, solide ou gazeuse et/ ou de la composition.

On observe que les liquides sont de meilleurs conducteurs que les gaz et les

solides de meilleurs conducteurs que les liquides. La conductibilité des liquides dépend en premier lieu de leur température.

La mesure précise du coefficient de conduction est une opération difficile. En effet les matériaux que l'on utilise actuellement ne sont pas toujours semblables. Ceci conduit à des différences entre les résultats expérimentaux établis dans divers laboratoires de recherche. Ainsi la précision sur le coefficient de conduction ne dépasse pas les 5 %.

Pour des fluides simples sans changement de phase il existe déjà des méthodes de mesure de la conductivité thermique.

Afin de caractériser un fluide multifonctionnel avec changement de phase ou non il n'existe quasiment aucune méthode directe fiable de mesure de la conductivité thermique

Le but de la présente invention est de palier cet inconvénient en fournissant un procédé ainsi qu'un dispositif qui permettent de déterminer d'une façon rapide, efficace et économique les caractéristiques thermodynamiques d'un fluide multifonctionnel et d'en déduire la conductivité thermique.

Ce but est atteint par un procédé tel que défini en préambule et caractérisé en ce que l'on isole un échantillon dudit fluide multifonctionnel dont on détermine l'épaisseur entre une première face dite d'entrée et une deuxième face dite de sortie, l'on transmet audit échantillon à travers ladite première face d'entrée au moins une impulsion très brève de flux de chaleur, l'on mesure l'onde de chaleur à travers ladite deuxième face de sortie, l'on détermine par cette mesure l'évolution de la température du fluide multifonctionnel en fonction du temps au niveau de ladite deuxième face de sortie, l'on déduit de cette

---

évolution les caractéristiques thermodynamiques de l'échantillon dudit fluide multifonctionnel et l'on calcule la conductivité thermique de cet échantillon.

Selon un mode de réalisation préféré, l'on transmet lesdites impulsions de flux de chaleur de manière répétitive et on établit un thermogramme constitué par des courbes d'évolution de la température en fonction du temps écoulé entre l'envoi d'un flux thermique à travers ladite première face d'entrée et l'élévation de température constatée au niveau de ladite deuxième face.

De façon préférentielle, l'on déduit la conductivité thermique de l'équation suivante:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \alpha(k) \left[ \frac{1}{k} \frac{dk}{dT} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right] = 0$$

où: T est la température

k la conductivité thermique dépendant de la température

t le temps

$\alpha$  est la diffusivité thermique dépendant de k et qui vaut:  $\frac{k(T)}{\rho * C_p}$

avec  $\rho$  et  $C_p$  la masse volumique et la chaleur spécifique.

Ce but est également atteint par le dispositif tel que défini en préambule et caractérisé en ce qu'il comporte des premiers moyens pour isoler un échantillon dudit fluide multifonctionnel, des deuxièmes moyens pour déterminer l'épaisseur entre une première face dite d'entrée et une deuxième face dite de sortie dudit échantillon, des troisièmes moyens pour transmettre audit échantillon à travers ladite première face d'entrée au moins une impulsion très brève de flux de chaleur, des quatrièmes moyens pour mesurer l'onde de chaleur à travers ladite deuxième face de sortie, des cinquièmes moyens pour déterminer par cette mesure l'évolution de la température du fluide multifonctionnel en fonction du temps au niveau de ladite deuxième face de

sortie, des sixièmes moyens pour déduire de cette évolution les caractéristiques thermodynamiques de l'échantillon dudit fluide multifonctionnel et des septièmes moyens pour calculer la conductivité thermique de cet échantillon.

Selon un mode de réalisation préféré, lesdits premiers moyens pour isoler un échantillon dudit fluide multifonctionnel comprennent une enceinte comportant une paroi isolante et un revêtement intérieur de métal poli et qui est traversée en continu par un fluide multifonctionnel.

Lesdits deuxièmes moyens comportent avantageusement une instrumentation comportant un micromètre et sont agencés pour permettre de déterminer l'épaisseur  $e$  dudit échantillon.

Selon un mode de réalisation particulier, lesdits troisièmes moyens comportent des éléments chauffants agencés pour permettre la transmission audit échantillon d'au moins une impulsion très brève de flux de chaleur.

Selon un autre mode de réalisation particulier, lesdits troisièmes moyens comportent un tube émetteur agencés pour permettre la transmission audit échantillon d'au moins une impulsion très brève de flux de chaleur.

Lesdits quatrièmes moyens peuvent comporter un tube récepteur agencé pour permettre de mesurer l'onde de chaleur ayant traversé l'échantillon.

Selon une construction particulièrement avantageuse, lesdits cinquièmes moyens comportent un capteur de température et sont agencés pour permettre de déterminer l'évolution de la température du fluide multifonctionnel en fonction du temps.

---

Pour permettre d'interpréter les mesures et de déduire la conductivité thermique de l'échantillon, lesdits sixièmes moyens et lesdits septièmes moyens sont constitués par une unité de calcul agencée pour permettre de déduire de cette évolution les caractéristiques thermodynamiques de l'échantillon dudit fluide et de calculer la conductivité thermique de cet échantillon.

La présente invention et ses avantages apparaîtront mieux dans la description suivante de différents modes de réalisation de l'invention, en référence aux dessins annexés, dans lesquels:

- la figure 1 est un schéma de principe illustrant la mise en œuvre du procédé selon l'invention,
- la figure 2 est une vue illustrant schématiquement un mode de réalisation du dispositif de l'invention,
- la figure 3 est une vue en coupe d'un mode de réalisation avantageux du dispositif de l'invention, et,
- la figure 4 représente une vue en coupe illustrant une sonde de mesure utilisée dans le dispositif de l'invention.

En référence à la figure 1, le procédé consiste tout d'abord à sélectionner un échantillon 10 d'un fluide multifonctionnel à étudier, par exemple en le faisant circuler entre deux parois 11 et 12 thermiquement isolées d'un conduit ou d'une enceinte d'une forme appropriée pour définir une première face dite face d'entrée 13 et une deuxième face dite face de sortie 14 pour cet échantillon. La première face d'entrée 13 reçoit au moins une impulsion très brève de flux de chaleur, illustrée par la flèche 15. Suite à cette impulsion, une onde de chaleur



se propage à travers l'échantillon 10 et traverse ladite deuxième face de sortie 14. Elle est représentée par la flèche 16 et mesurée par un équipement 17 qui permet de mesurer l'évolution de la température du fluide multifonctionnel en fonction du temps au niveau de ladite deuxième face de sortie, en fournissant un thermogramme, de déduire de cette évolution les caractéristiques thermodynamiques de l'échantillon dudit fluide multifonctionnel et de calculer la conductivité thermique de cet échantillon.

Le dispositif pour la mise en œuvre du procédé de mesure de la conductivité thermique d'un échantillon 20 d'un fluide multifonctionnel, illustré à titre d'exemple non limitatif, sous une forme de réalisation avantageuse par la figure 2, comporte un premier tube émetteur 21 et un deuxième tube récepteur 22, disposés en regard de telle manière que l'espace séparant leurs extrémités respectives 21a et 22a définissent ladite première face d'entrée 23 et ladite deuxième face de sortie 24 de cet échantillon 20. Une impulsion appelée flash de flux de chaleur est émise par le tube émetteur 21, traverse l'échantillon 20 sous la forme d'une onde de chaleur et est captée par le tube récepteur 22. Les deux tubes ont avantageusement quelques centimètres de long et un diamètre inférieur à 0,01m. Ils contiennent les composants électroniques nécessaires à la commande des impulsions et à la gestion des mesures. Ils sont respectivement montés sur deux supports 21b et 22b constitués de fils rigides conducteurs.

La figure 3 est une vue en coupe d'un dispositif 30 de mesure selon l'invention. Il comporte principalement une enceinte 31 ayant une paroi isolante 32 et un revêtement intérieur de métal poli 33. Cette enceinte est traversée en continu par un fluide multifonctionnel, tel que par exemple un coulis de glace dont on souhaite connaître la conductivité thermique. Ce fluide pénètre dans l'enceinte 31 par un conduit 34 et ressort de cette enceinte par un conduit 35. Elle est en outre équipée d'une chambre 36 contenant des éléments de chauffage 37 qui

sont agencés pour générer des impulsions de flux de chaleur, représentés par une flèche 38. Les ondes de chaleur générées traversent l'échantillon de fluide contenu dans l'enceinte 31, ressortent de l'enceinte (flèche 39) et sont mesurées par des moyens appropriés. L'épaisseur  $e$  de l'enceinte 31 est connue avec précision. Cette épaisseur peut être variable pour permettre de faire varier les paramètres de mesure. A cet effet le dispositif 30 est équipé d'une instrumentation 39 comportant un micromètre qui permet de déterminer avec précision l'épaisseur  $e$  de l'enceinte 31. Les deux conduits 34 et 35 sont respectivement équipés d'une vanne 40, 41 qui permet de commander l'entrée, la sortie et la circulation en continu du fluide multifonctionnel dans l'enceinte.

La sonde 50 schématiquement représentée par la figure 4 est plongée dans un fluide multifonctionnel 51. Elle comporte un capteur de température 52 et un capteur de mesure de la conductivité électrique 53 du fluide multifonctionnel. Ces deux capteurs sont par exemple montés sur la paroi intérieure d'un élément tubulaire 54 porté par un support 55 plongeant dans le fluide multifonctionnel.

Le dispositif selon l'invention fonctionne avantageusement de la manière suivante. Des premiers moyens, par exemple l'enceinte 31 de la figure 3 permettent d'isoler un échantillon dudit fluide multifonctionnel. Des deuxièmes moyens, par exemple l'instrumentation 39 comportant un micromètre de la figure 3 permettent de déterminer l'épaisseur dudit échantillon. Des troisièmes moyens, par exemple les éléments chauffants 37 de la figure 3 ou le tube émetteur 21 de la figure 2, permettent de transmettre audit échantillon au moins une impulsion très brève de flux de chaleur. Des quatrièmes moyens, par exemple le tube récepteur de la figure 2 permettent de mesurer l'onde de chaleur ayant traversé l'échantillon. Des cinquièmes moyens, par exemple le capteur de température 52 de la figure 4 permettent de déterminer l'évolution de la température du fluide multifonctionnel en fonction du temps. Des sixièmes moyens et des septièmes moyens constitués par une unité de calcul (non

représentée) permettent de déduire de cette évolution les caractéristiques thermodynamiques de l'échantillon dudit fluide et de calculer la conductivité thermique de cet échantillon.

Pour déterminer la conductivité thermique, il convient de résoudre l'équation de la chaleur en considérant que la conductivité thermique est une fonction dépendant de la température. Cette équation est la suivante:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \alpha(k) \left[ \frac{1}{k} \frac{dk}{dT} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right] = 0$$

où: T est la température

k la conductivité thermique dépendant de la température

t le temps

$\alpha$  est la diffusivité thermique dépendant de k et vaut:  $\frac{k(T)}{\rho \cdot C_p}$

avec  $\rho$  et  $C_p$  la masse volumique et la chaleur spécifique.

En discrétisant cette équation avec l'aide d'un logiciel approprié et en se servant des valeurs de conductivités thermiques données par un modèle, appelé modèle de Jeffrey, on obtient un ensemble de courbes qui constitue un thermogramme.

On peut déterminer la conductivité thermique en se servant du thermogramme qui est constitué à partir des seules données expérimentales disponibles. A cet effet il convient de réécrire l'équation de la chaleur en faisant ressortir deux coefficients dépendants de la température.

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \alpha(k) \left[ \frac{1}{k} \frac{dk}{dT} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right] = 0$$


---

On notera que le coefficient  $a$  est la dérivée par rapport à la température du coefficient  $b$ . En écrivant deux fois cette équation pour deux endroits très proches, la première à la cote  $x$  et la deuxième à la cote  $x+dx$ , on obtient un système de deux équations à deux inconnues. On suppose que les coefficients  $a$  et  $b$ , aux cotes  $x$  et  $x+dx$  sont égaux. En mettant ce système sous forme matricielle, on peut le résoudre très simplement à l'aide d'un logiciel adéquat et retrouver la conductivité thermique de l'échantillon.

Les matériaux à changement de phase couramment appelés PCM (Phase Change Material) sont des polymères alkanes dont la température de changement de phase solide - liquide varie entre  $0^{\circ}\text{C}$  et  $65^{\circ}\text{C}$ . Les PCM présentent un avantage pour des utilisations statiques, par exemple le stockage et dynamiques, par exemple le transport de l'énergie thermique.

L'adjonction de micro capsules ( $10\text{ }\mu\text{m}$  à  $1000\text{ }\mu\text{m}$ ) de matériaux PCM tel que par exemple le naphthalène sous une phase solide en suspension dans un liquide donne un mélange diphasique sous forme liquide couramment appelé «PCMS» pouvant être mis en circulation par des moyens conventionnels, par exemple une pompe. Cette solution aqueuse permet de combiner de manière écologique et économique les avantages du stockage et de la distribution de l'énergie sous forme de chaleur et de froid et des systèmes indirects.

Un tel PCMS est constitué par le coulis de glace. L'adjonction de petites paillettes de glace dans une solution aqueuse donne un mélange sous forme liquide pouvant être pompé. Ce mélange donne la possibilité de combiner de manière écologique et économique les avantages du stockage du froid et du refroidissement indirect avec le haut pouvoir frigorifique de la détente directe.

En ce qui concerne la sonde 50 en particulier, d'autres modes de construction sont envisageables. Les capteurs de température et de mesure de la

conductivité existent dans le commerce. Leur disposition sur un support plongeant dans le fluide multifonctionnel pourra être adaptée en fonction des besoins et des applications.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de mesure de la conductivité thermique en continu d'un fluide multifonctionnel caractérisé en ce que l'on fait passer un échantillon dudit fluide multifonctionnel dans un espace délimité par une première face dite d'entrée et une deuxième face dite de sortie, l'on transmet audit échantillon à travers ladite première face d'entrée au moins une impulsion très brève de flux de chaleur, l'on mesure l'onde de chaleur à travers ladite deuxième face de sortie, l'on détermine par cette mesure l'évolution de la température du fluide multifonctionnel en fonction du temps au niveau de ladite deuxième face de sortie, l'on déduit de cette évolution les caractéristiques thermodynamiques de l'échantillon dudit fluide multifonctionnel et l'on calcule la conductivité thermique de cet échantillon.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on transmet lesdites impulsions de flux de chaleur de manière répétitive et on établit un thermogramme constitué par des courbes d'évolution de la température en fonction du temps écoulé entre l'envoi d'un flux thermique à travers ladite première face d'entrée et l'élévation de température constatée au niveau de ladite deuxième face.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on déduit la conductivité thermique de l'équation suivante:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \alpha(k) \left[ \frac{1}{k} \frac{dk}{dT} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right] = 0$$

où: T est la température

k la conductivité thermique dépendant de la température

t le temps

$\alpha$  est la diffusivité thermique dépendant de k et qui vaut:  $\frac{k(T)}{\rho \cdot C_p}$

avec  $\rho$  et  $C_p$  la masse volumique et la chaleur spécifique.

4. Dispositif de mesure de la conductivité thermique en continu d'un fluide multifonctionnel pour la mise en œuvre du procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte des premiers moyens pour faire passer un échantillon dudit fluide multifonctionnel dans un espace délimité par une première face dite d'entrée et une deuxième face dite de sortie dudit échantillon, des deuxième moyens pour transmettre audit échantillon à travers ladite première face d'entrée au moins une impulsion très brève de flux de chaleur, des troisième moyens pour mesurer l'onde de chaleur à travers ladite deuxième face de sortie, des quatrième moyens pour déterminer par cette mesure l'évolution de la température du fluide multifonctionnel en fonction du temps au niveau de ladite deuxième face de sortie, des cinquième moyens pour déduire de cette évolution les caractéristiques thermodynamiques de l'échantillon dudit fluide multifonctionnel et des sixième moyens pour calculer la conductivité thermique de cet échantillon.

5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que lesdits premiers moyens pour faire passer un échantillon dudit fluide multifonctionnel comprennent une enceinte (31) ayant une paroi isolante (32) et un revêtement intérieur de métal poli (33) et qui est traversée en continu par un fluide multifonctionnel.

6. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que lesdits deuxième moyens comportent des éléments chauffants (37) agencés pour permettre la transmission audit échantillon d'au moins une impulsion très brève de flux de chaleur.

7. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que lesdits deuxième moyens comportent un tube émetteur (21) agencés pour permettre la

---

transmission audit échantillon d'au moins une impulsion très brève de flux de chaleur.

8. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que lesdits troisièmes moyens comportent un tube récepteur (22) agencé pour permettre de mesurer l'onde de chaleur ayant traversé l'échantillon.

9. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que lesdits quatrièmes moyens comportent un capteur de température (52) et sont agencés pour permettre de déterminer l'évolution de la température du fluide multifonctionnel en fonction du temps.

10. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que lesdits cinquièmes moyens et lesdits sixièmes moyens sont constitués par une unité de calcul agencée pour permettre de déduire de cette évolution les caractéristiques thermodynamiques de l'échantillon dudit fluide et de calculer la conductivité thermique de cet échantillon.



## Abrégé

La présente invention concerne un procédé de mesure de la conductivité thermique en continu d'un fluide multifonctionnel dans lequel l'on fait passer un échantillon dudit fluide multifonctionnel dans un espace délimité par une première face dite d'entrée et une deuxième face dite de sortie, l'on transmet audit échantillon à travers ladite première face d'entrée au moins une impulsion très brève de flux de chaleur, l'on mesure l'onde de chaleur à travers ladite deuxième face de sortie, l'on détermine par cette mesure l'évolution de la température du fluide multifonctionnel en fonction du temps au niveau de ladite deuxième face de sortie, l'on déduit de cette évolution les caractéristiques thermodynamiques de l'échantillon dudit fluide multifonctionnel et l'on calcule la conductivité thermique de cet échantillon à partir de l'équation suivante:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \alpha(k) \left[ \frac{1}{k} \frac{dk}{dT} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right] = 0$$

où: T est la température

k la conductivité thermique dépendant de la température

t le temps

$\alpha$  est la diffusivité thermique dépendant de k et qui vaut:  $\frac{k(T)}{\rho \cdot C_p}$

avec  $\rho$  et  $C_p$  la masse volumique et la chaleur spécifique.

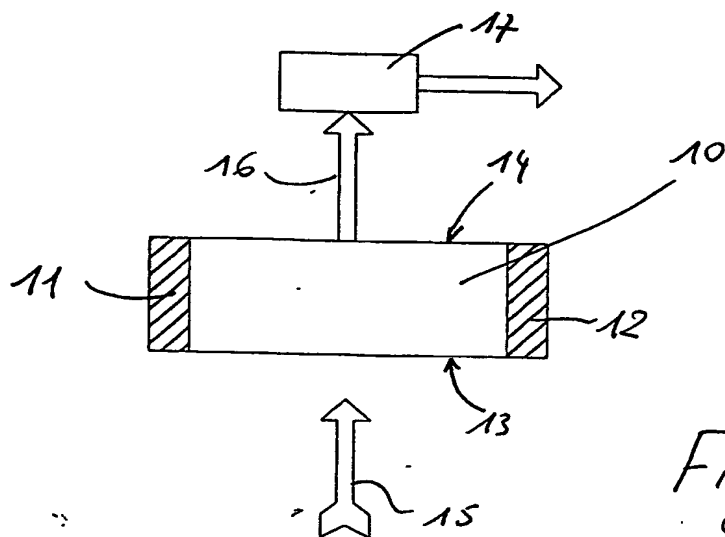


Fig. 1

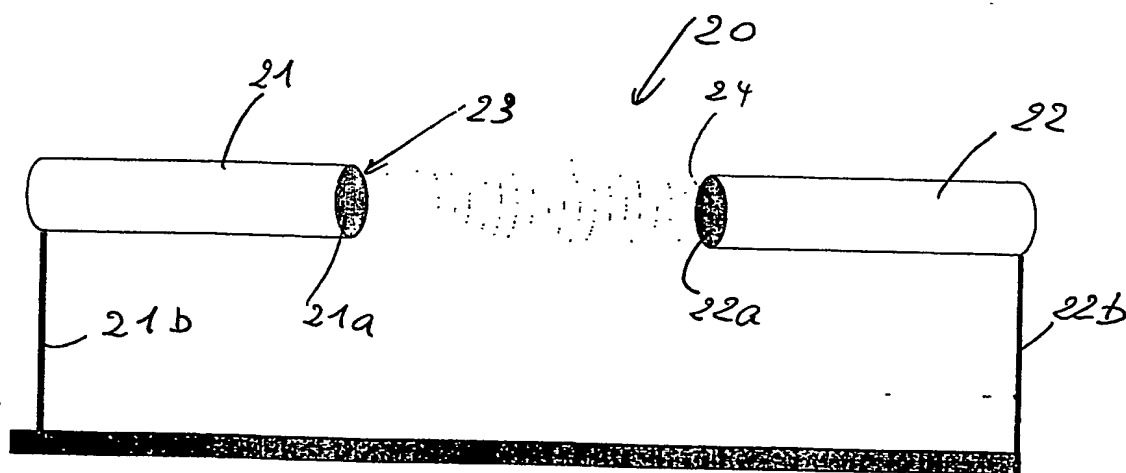
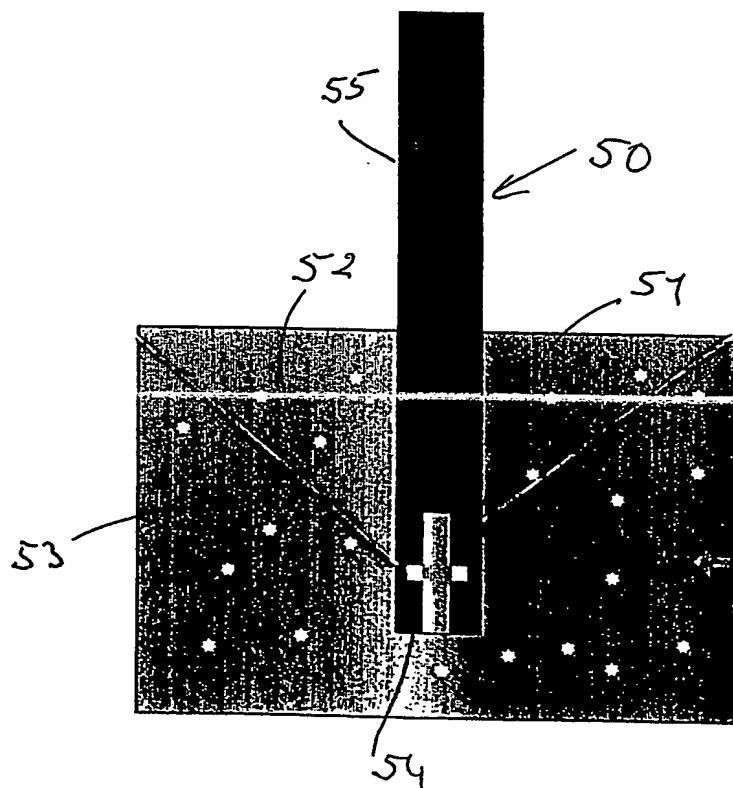
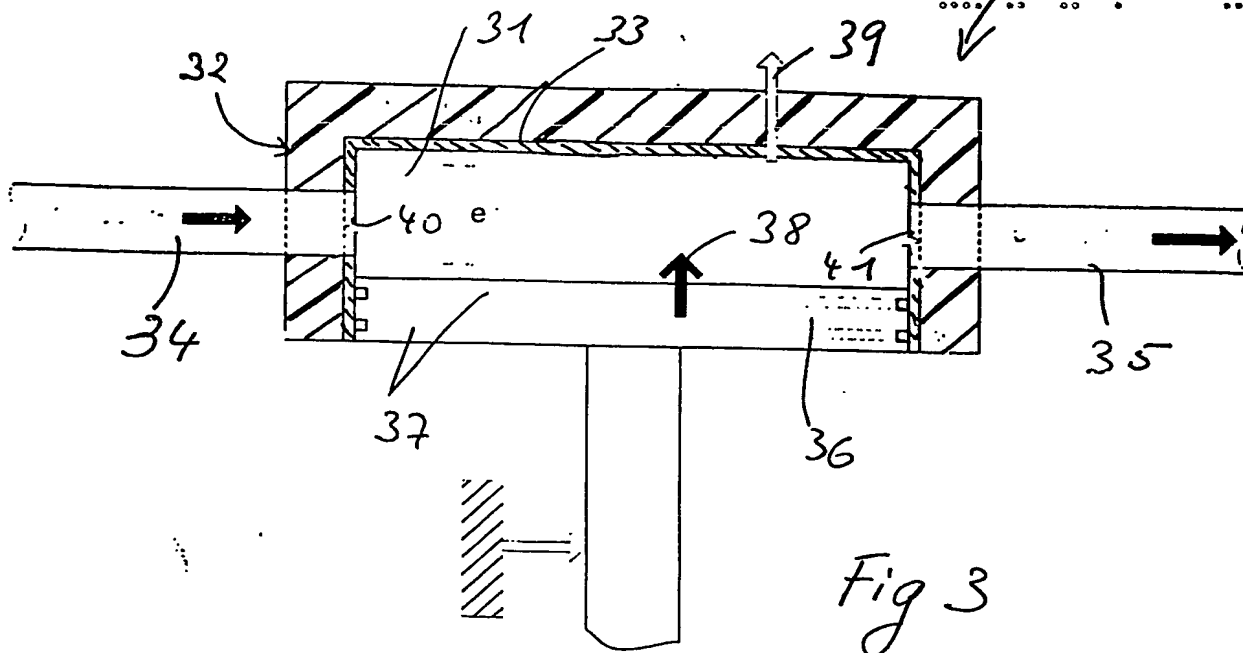


Fig 2

2030700



BEST AVAILABLE COPY